

1. まえがき

先に筆者は、覆工の軸線の山側法線方向の変位の一部に比例して受働荷重が発生すると仮定した、閉断面型トンネル覆工の一計算法を提案した¹⁾。今回は、さらに覆工の軸線の接線方向の変位の一部にも比例して受働荷重が発生するとした、閉断面型トンネル覆工の応力解析法について述べる。

2. 計算法

閉断面型トンネル覆工の構造系は図-1に示すように、覆工の左右の支点が、同一の弾性支点上に載っているものとする。そして主働荷重は覆工周囲に発生する受働荷重で支えられ、支点では反力がほとんど生じないように、支点の反力係数を非常に小さく選ぶ。このようにすると、支点を仮想した点での断面力は連続的となる。いま仮想した支点の支点変位を δ_θ , δ_v , δ_H とし、その点での左右断面の反力を M_L , M_R , R_{HL} , R_{HR} , R_{VL} , R_{VR} とすれば

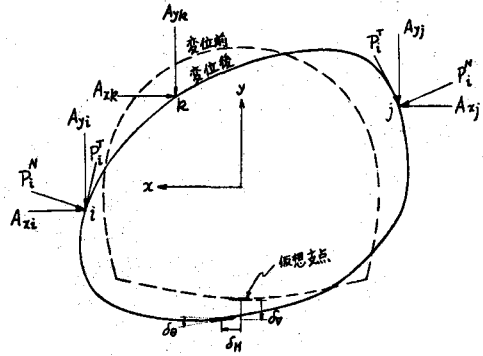


図-1

ば次式が成立する。 $M_L - M_R = k_\theta J \delta_\theta$, $R_{HL} - R_{HR} = k_H A_H \delta_H$, $R_{VL} - R_{VR} = k_v A_v \delta_v$ (1) ここに、 k_θ , k_H , k_v : 反力係数, J : 仮想支点底面二次モーメント, A_H , A_v : 仮想支点底面の水平, 垂直投影面積である。この式(1)の関係と、弾性重心での連続の条件より、不静定断面力(弾性重心での断面力)は次式のように求まる。ただし平面ひずみ状態問題と考えている。

$$M_G = \frac{(1-\nu^2)}{EI} \int M_0 dS - \frac{1}{k_\theta J} (M_{0L} - M_{0R}) \quad (2), \quad N_G = \frac{(1-\nu^2)}{E} \int \left(\frac{y M_0}{I} - \frac{\cos \theta N_0}{A} \right) dS - \frac{1}{k_H A_H} (R_{H0L} - R_{H0R}) \quad (3)$$

$$S_G = \frac{(1-\nu^2)}{E} \int \left(\frac{x M_0}{I} - \frac{\sin \theta N_0}{A} \right) dS - \frac{1}{k_v A_v} (R_{V0L} - R_{V0R}) \quad (4) \quad \text{ここに、下添字の0は、基本静定系であることを示す。}$$

次に図-1を参照して、 A_x , A_y は x , y 方向の主働荷重、 P^N , P^T は法線、接線方向に発生する受働荷重とする。 i 点の法線方向の受働荷重 P_i^N は地山方向への変位 δ_i^N がある値 δ_0 (覆工と地山間の空隙) 以上になった場合、 $\delta_i^N - \delta_0$ に比例して覆工の内側の向きに発生するものとし、比例常数を K_i^N とすると、次の式(5)で表わされる。 i 点の接線方向の受働荷重 P_i^T は、接線方向への変位 δ_i^T の絶対値が δ_0 を越した場合、 $| \delta_i^T | - \delta_0$ に比例して、変位の向きと逆向きに発生するものとし、比例常数を K_i^T とすると、次の式(6)で表わされる。

$$P_i^N = \begin{cases} K_i^N (\delta_i^N - \delta_0) & (\delta_i^N > \delta_0 \text{ のとき}) \\ 0 & (\delta_i^N \leq \delta_0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (5)$$

$$P_i^T = \begin{cases} K_i^T (| \delta_i^T | - \delta_0) & (| \delta_i^T | > \delta_0 \text{ のとき}) \\ 0 & (| \delta_i^T | \leq \delta_0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (6)$$

一方、覆工の変位 δ_i^N , δ_i^T は次の式 (7)~(8) のように表わされる。ここに、 $\bar{\delta}_{ijx}^N, \bar{\delta}_{ijy}^N, \bar{\delta}_{ijN}^N$, $\bar{\delta}_{ijT}^N, \bar{\delta}_{ijx}^T, \bar{\delta}_{ijy}^T, \bar{\delta}_{ijN}^T, \bar{\delta}_{ijT}^T$ は j 点のそれぞれ x, y , 法線, 接線方向に単位の荷重が作用したときの、 i 点の法線および接線方向への変位である。

$$\delta_i^N = \sum_j (A_{xj} \bar{\delta}_{ijx}^N + A_{yj} \bar{\delta}_{ijy}^N + P_j^N \bar{\delta}_{ijN}^N + P_j^T \bar{\delta}_{ijT}^N) \quad (7)$$

$$\delta_i^T = \sum_j (A_{xj} \bar{\delta}_{ijx}^T + A_{yj} \bar{\delta}_{ijy}^T + P_j^N \bar{\delta}_{ijN}^T + P_j^T \bar{\delta}_{ijT}^T) \quad (8)$$

したがって式 (5)~(8) より次の式 (9)~(10) の関係を得る。これらの式 (9)~(10) において、主働荷重 A_x, A_y および空隙 δ_0 は

$$-\frac{P_i^N}{K_i^N} + \sum_j (P_j^N \bar{\delta}_{ijN}^N + P_j^T \bar{\delta}_{ijT}^N) = -\sum_j (A_{xj} \bar{\delta}_{ijx}^N + A_{yj} \bar{\delta}_{ijy}^N) + \delta_0 \quad (9)$$

$$-\frac{P_i^T}{K_i^T} + \sum_j (P_j^N \bar{\delta}_{ijN}^T + P_j^T \bar{\delta}_{ijT}^T) = -\sum_j (A_{xj} \bar{\delta}_{ijx}^T + A_{yj} \bar{\delta}_{ijy}^T) \pm \delta_0 \quad (10)$$

予め与えられるものとすれば、又 $\bar{\delta}$ は

予の構造解析計算により求めておくことができるから、未知量は受働荷重 P^N, P^T だけである。したがって受働荷重の発生する点において式 (9), (10) を作り、それらを連立に解けば、未知量である P^N, P^T が求められる。ただし受働荷重の発生する点を予測することはできないから繰り返し計算をする必要がある。

3 計算例

図-2に示すような鋼鉄管幹線のインバート付きトンネルの計算結果について示す。この例において用いた常数は次の通りである。

$$E = 300000 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\nu = 0.15, K_0 = K_H = K_V = 0.5 \text{ kg/cm}^2,$$

$K^N = 45000 \text{ t/m}$ (地山の反力係数に換算すると 50 kg/cm^3 に相当する), $K^T = K^N/100 = 450 \text{ t/m}$ 。図-3は主働荷重としてゆるみ高さ $H_p = 1 \text{ m}$ の地山荷重が、トンネルの片側半分に作用した場合の、 $\delta_0 = 0, 1 \text{ mm}$ としたときの曲げモーメント図である。

図-4は同じ載荷状態で $\delta_0 = 1 \text{ mm}$ の場合の、トンネル覆工の内、外側応力図である。又表-1は、 $\delta_0 = 0, 1, 2, 3, 4 \text{ mm}$ としたときの、覆工に発生する最大引張応力を示す。これらの図表から次の事が言える。(1) 地山と覆工の間に空隙がなければ、発生する曲げモーメントおよび応力が少ない。(2) 空隙が 1 mm 程度以上あれば、発生する最大引張応力は、空隙の大きさに関係なくほぼ同じである。参考文献 1) 長 尚: 受働荷重の発生を考慮したトンネル覆工の一計算法, 昭和 47 年度土木学会中部支部研究発表会概要。

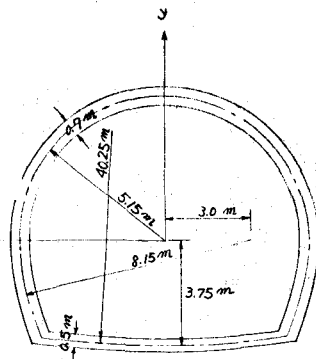


図-2

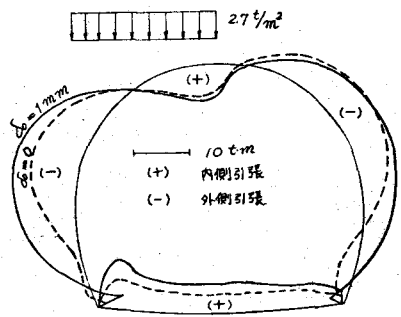


図-3

表-1

$\delta_0 \text{ mm}$	$\sigma_t \text{ kg/cm}^2$
0	12
1	22
2	24
3	24
4	24

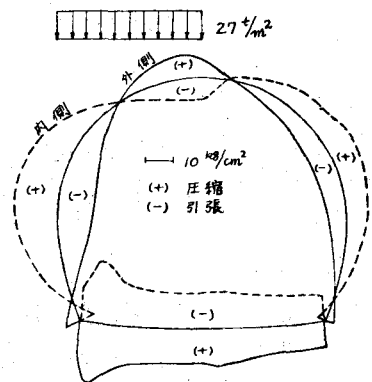


図-4